

INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DE CERÂMICA EM ARGAMASSAS DE CAL PARA REABILITAÇÃO - RESULTADOS PRELIMINARES DE PROJETO

Isabel Torres^{1*} e Paulina Faria²

1: CICC, Departamento de Engenharia Civil
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
Rua Luís Reis Santos - Pólo II - 3030-788 COIMBRA
itorres@dec.uc.pt

2: UNIC, Dep. Eng. Civil, FCT - Universidade Nova de Lisboa
2829-516 Caparica
paulina.faria@fct.unl.pt

Palavras-chave: Argamassa de cal, reabilitação, aproveitamento de resíduo

Resumo. *Aproximadamente 30% do material produzido pela indústria cerâmica é considerado desperdício e, muito frequentemente, depositado em aterro, com o impacto ambiental negativo que acarreta. Esta tem sido uma das grandes razões para a crescente procura de soluções para o seu reaproveitamento. A viabilidade do uso de resíduos de material cerâmico, especialmente resultante de demolições, tem vindo a ser avaliada para utilização prioritária em betões ou em argamassas com base em cimento.*

Por outro lado, na antiguidade, na ausência de pozolanas naturais, eram frequentemente utilizados resíduos cerâmicos peneirados, funcionando como pozolanas artificiais e conferindo algumas características hidráulicas e de durabilidade às argamassas de cal aérea. Tem-se efetivamente constatado que alguns pós resultantes de desperdícios de cerâmica de barro vermelho, nomeadamente os que foram sujeitos a tratamento térmico a temperaturas inferiores a 900°C e moídos em granulometria fina, podem funcionar como pozolanas artificiais em argamassas.

O recurso à utilização de resíduos de cerâmica como agregado pode também revelar-se vantajoso, na medida em que permite substituir parcialmente a areia normalmente utilizada. Assim sendo, o recurso aos resíduos de cerâmica pode ser muito vantajoso em três vertentes principais: a redução de resíduos a depositar em aterro, a redução da extração de rochas para serem utilizadas na produção de ligantes e de areias e a produção de argamassas com comportamentos melhorados.

O que se pretende apresentar neste artigo são os resultados até agora obtidos resultantes de um projeto que tem vindo a ser desenvolvido na Universidade de Coimbra/ITeCons em colaboração com a Universidade Nova de Lisboa e que tem como principal objetivo o desenvolvimento e otimização de argamassas de cal com incorporação de resíduos de cerâmica para aplicação essencialmente na reabilitação de edifícios.

1. INTRODUÇÃO

As argamassas para revestimentos de edifícios têm um papel fundamental no desempenho funcional e global do edifício no seu conjunto. Para preservar e recuperar o património edificado de uma forma correta é fundamental ter em consideração que as argamassas de substituição devem cumprir requisitos específicos e possuir propriedades e materiais constituintes semelhantes aos originalmente utilizados. Deve também assegurar-se a compatibilidade com os suportes em causa e, dentro do possível, garantir a sua durabilidade, visto que uma má solução de reparação pode acelerar o processo de degradação da argamassa ou do próprio suporte. A reversibilidade das intervenções deve também ser sempre assegurada.

As argamassas de cal aérea aplicadas em edifícios antigos possuem, frequentemente, pozolanas que lhes conferem algumas propriedades hidráulicas. Tem sido demonstrado por vários autores que as argilas, que fazem parte da composição de ladrilhos, telhas e tijolos de cerâmica de barro vermelho, quando submetidas a determinadas temperaturas, demonstram elevada reatividade pozolânica. Por outro lado também a cerâmica branca contém na sua constituição caulinos que, quando sujeitos a determinado tratamento térmico, se transformam em metacaulinos, muito reativos em termos pozolânicos. A utilização de qualquer destes materiais pozolânicos, após moagem, permite a redução de incorporação de ligante e também a otimização de características das argamassas, nomeadamente em termos de durabilidade, sem colocar em causa a necessária compatibilidade com edifícios antigos.

Em 2008 foi iniciada uma estreita colaboração entre o Departamento de Engenharia Civil da FCTUC e o Departamento de Engenharia Civil da FCT-UNL cujo principal objetivo foi o estudo de argamassas de cal com incorporação de resíduos cerâmicos. Entre 2008 e 2012 foram desenvolvidos diversos trabalhos de investigação, dos quais resultaram algumas dissertações de Mestrado e em que se pretendeu proceder a uma análise prévia das características de argamassas de cal aérea com incorporação de resíduos de telhas, tijolos e vasos.

Em 2012 houve a oportunidade de se proceder a uma candidatura de um projeto em que se previa aproveitar alguma da investigação anteriormente desenvolvida e, partindo de alguns dados conseguidos, se avançaria para o estudo de argamassas realizadas com diferentes tipos e traços de ligante (cais e finos de cerâmica de barro vermelho) e agregado (areia e granulados de cerâmica de barro vermelho) com vista à sua otimização e avaliação da sua viabilidade de aplicação em argamassas de reboco para edifícios antigos.

Esse projeto obteve financiamento da FCT e está neste momento em pleno desenvolvimento. Nos parágrafos seguintes apresentam-se os resultados obtidos nos trabalhos até agora realizados.

2. TRABALHOS PRÉVIAMENTE DESENVOLVIDOS

O primeiro trabalho desenvolvido no âmbito desta alargada investigação data de 2004 e foi desenvolvido por Faria [1]. Numa primeira campanha experimental, foram caracterizadas argamassas com diversos ligantes e analisadas face aos requisitos para aplicação na reparação de edifícios antigos [2]. Entre elas salientaram-se argamassas de cal aérea com resíduo de telhas antigas moídas em substituição parcial da areia, que revelaram uma melhoria de comportamento na presença de cloretos. Numa segunda campanha experimental foram caracterizadas especificamente argamassas de cal aérea com diferentes adições de resíduo fino de material cerâmico cru recolhido no despoeirador de uma fábrica e posteriormente sujeito a diversos tratamentos térmicos, de forma a ativar características pozolânicas. Confirmou-se essa pozolanicidade através de caracterização química [3]; verificaram-se as alterações (positivas, em termos de avaliação geral), aos níveis mecânicos, físicos e da durabilidade, que a adição desses materiais introduziu nas argamassas, face a argamassas de referência ou com adição de outras pozolanas [4].

Os resultados obtidos neste trabalho justificaram a aposta que foi feita na continuidade desta linha de investigação, no âmbito da colaboração da FCTUC e da FCT UNL. Um primeiro trabalho de 2008, desenvolvido por Matias [5] e teve como objetivo analisar o comportamento de argamassas de cal

aérea, com utilização de resíduos de cerâmica de barro vermelho, como pozolanas artificiais e como agregado [5]. Neste primeiro trabalho foram analisadas argamassas de cal aérea com incorporação de pó de tijolo (granulometria inferior a 0,075mm), com grânulos de tijolo (granulometria superior a 0,075mm e com o resíduo integral de tijolo (frações fina e grossa não separadas). Foram igualmente analisadas duas argamassas de referência, sem resíduos, uma de cal aérea e outra de cimento. Após condicionamento de todas as argamassas (28 dias para as argamassas de cimento e 60 dias para as argamassas de cal aérea), foram determinadas as seguintes propriedades: absorção de água por capilaridade, permeabilidade ao vapor de água, resistência à tração por flexão, resistência à compressão e módulo de elasticidade dinâmico. Após análise dos resultados obtidos pode concluir-se que “argamassas de cal (aérea na forma viva micronizada) com uma correta dosagem de ligante e agregado, que possuam na sua composição pó de tijolo e/ou agregado de tijolo moído, terão um comportamento, relativamente às propriedades estudadas, bastante aceitável” [1].

Os resultados positivos obtidos neste trabalho continuaram a incentivar a prossecução e aprofundamento da investigação. Em 2011 e 2012 foram desenvolvidos quatro dissertações de mestrado por Duarte [6], Ferreira [7], Tomás [8] e Silva [9] que se complementam e que permitiram obter um melhor conhecimento do comportamento das argamassas de cal aérea com incorporação de resíduos cerâmicos. Foram recolhidos resíduos de cerâmica de diferentes fábricas de cerâmica da região centro; de entre eles foram selecionados resíduos de tijolo, de telhas e de vasos que foram triturados num moinho de maxilas (figura 1). Os resíduos assim obtidos foram utilizados nos quatro trabalhos desenvolvidos. Foi utilizada cal aérea hidratada e as argamassas foram caracterizadas em termos mecânicos e físicos, incluindo caracterização das argamassas no estado fresco através da determinação da sua consistência (figura 2) e no estado endurecido através da determinação das resistências mecânicas (figura 3), módulo de elasticidade, massa volúmica, porosidade aberta, absorção de água, capacidade de secagem e permeabilidade ao vapor de água (figura 4).



Figura 1. Resíduos utilizados e sua preparação

Nos trabalhos de Duarte [6] e Ferreira [7] foram estudadas argamassas com incorporação de resíduos de tijolo, telha e vasos na sua granulometria integral. O traço volumétrico estudado foi de 1:3 (ligante:agregado); os resíduos foram integrados em substituição do agregado e em duas percentagens volumétricas diferentes: 20% e 40%. Já no trabalho de Tomás [8] foi apenas utilizada, em substituição parcial da areia, a fração grossa de cada resíduo cerâmico (todas as partículas passadas no peneiro de 0,075 mm e retidas no peneiro de 4,75mm foram rejeitadas), enquanto no de Silva [9] apenas foi utilizada a fração fina (as partículas passadas no peneiro 0,075mm), neste caso em substituição parcial do ligante. A utilização apenas da fração grossa, face à composição integral, limita a percentagem de finos cerâmicos e, dessa forma, a possibilidade de reação pozolânica. No trabalho de Silva [9], a substituição de cal por resíduo fino conduziu, obviamente, a argamassas com traço volumétrico muito mais fraco em cal aérea. No trabalho de Tomás o traço utilizado e as percentagens de substituição de agregado foram idênticas às anteriores, ou seja, traço 1:3 e percentagens de 20 e 40%, enquanto no trabalho de Silva manteve-se o traço 1:3 mas as percentagens de substituição de ligante foram de 10 e 20%. Incluiu-se também a caracterização de uma argamassa de referência ao traço 1:3 e sem incorporação de resíduos.



Figura 2. Ensaios sobre as argamassas frescas. Determinação da consistência.

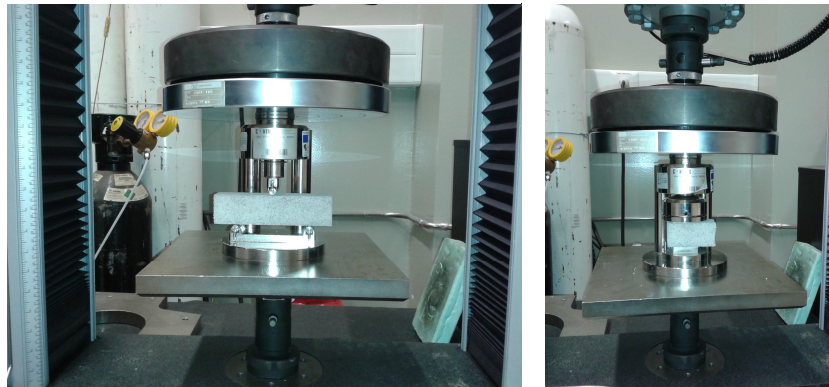


Figura 3. Determinação das resistências mecânicas

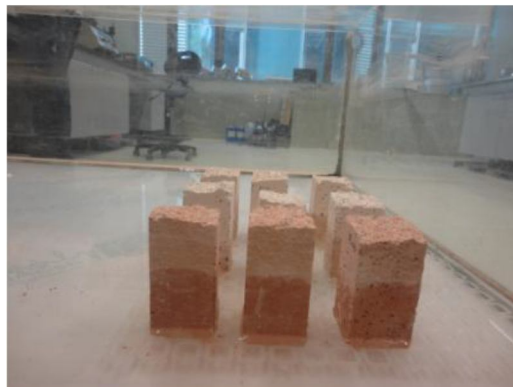


Figura 4. Determinação da absorção de água por capilaridade



Figura 5. Determinação da permeabilidade ao vapor de água

Como principais conclusões destes quatro trabalhos pode referir-se que a permeabilidade ao vapor de água obtida para as argamassas estudadas é relativamente boa, não havendo impacto significativo no que diz respeito às variações de traço, tipo e granulometria do resíduo, em relação à argamassa de referência. Para a absorção de água obtiveram-se valores mais baixos para as argamassas apenas com resíduos em pó e para argamassas apenas com resíduos de maior de dimensão. No que diz respeito ao comportamento mecânico, verificou-se que as argamassas apenas com resíduos de granulometria fina (em substituição de cal) apresentam resistências mecânicas muito baixas, enquanto todas as outras apresentam resistências superiores à argamassa de referência mas não demasiado elevadas.

Globalmente concluiu-se que todas as argamassas estudadas têm um comportamento bastante satisfatório e que a inclusão de resíduos poderá melhorar o comportamento face ao mesmo tipo de argamassas só com cal aérea. As argamassas com incorporação do resíduo com granulometria integral demonstram ser as mais adequadas para argamassas de reabilitação e, dentro destas, as que têm 40% de substituição apresentam mais vantagens.

Estes trabalhos tiveram sequência no trabalho desenvolvido por Barbosa [10] que introduziu também os resíduos diretamente da moagem (granulometria integral) em substituição parcial da areia mas em argamassas de cal aérea ao traço volumétrico 1:2 e com percentagens volumétricas de substituição idênticas às anteriormente utilizadas, ou seja 20 e 40%. Comparando os resultados obtidos neste trabalho com os descritos anteriormente podemos concluir que as argamassas de cal aérea com traço 1:2 com incorporação do resíduo na sua forma integral apresentaram ainda melhor comportamento global que todas as descritas anteriormente.

Todos estes trabalhos possibilitaram avaliar a influência, nas características mecânicas e físicas de argamassas de cal aérea: de três tipos de resíduos, da sua utilização integral ou apenas nas frações fina ou grossa, da sua utilização em distintas percentagens e em substituição alternativa de cal aérea ou de areia, da influência do traço ligante:agregado e ainda a evolução das características ao longo de idade jovens.

Complementarmente foi iniciada também uma outra linha da investigação em que foi utilizada cal hidráulica natural NHL3,5 como ligante base das argamassas. No âmbito da dissertação de Cruz [11] foram formuladas e de novo caracterizadas, em termos mecânicos e físicos, argamassas ao traço volumétrico 1:3 (ligante:agregado) em que a areia foi parcialmente substituída pelos mesmos resíduos cerâmicos na sua forma integral e com idênticas percentagens de substituição das referidas anteriormente. Os desempenhos obtidos, comparativamente à argamassa de referência, foram satisfatórios em termos de comportamento face à água líquida e na forma de vapor, e introduziram ainda melhorias nalgumas características mecânicas estudadas. As argamassas com a percentagem de substituição do agregado mais baixa apresentaram, em todos os aspetos estudados, características bastante adequadas para argamassas de edifícios antigos.

3. TRABALHOS DESENVOLVIDOS NO ÂMBITO DO PROJECTO

Já no âmbito do projeto foi concluído o trabalho desenvolvido por Simões [12], que procedeu a uma análise de diversos resíduos recolhidos em fábricas cerâmicas da região Centro de Portugal. Essa análise envolveu aspetos ecológicos e ambientais, em termos de volumes produzidos, gestão efetuada aos resíduos e, nomeadamente, a sua reutilização pelas empresas, energia necessária para a sua moagem, e ainda aspetos químicos e mineralógicos. Fundamentou a escolha dos três tipos de resíduos que foram utilizados nos trabalhos mencionados anteriormente [6-11].

Embora a maior quantidade de resíduos de cerâmica de barro vermelho seja proveniente da produção de tijolos e telhas, pretendeu-se também analisar outro tipo de material com constituição semelhante: o ladrilho cerâmico de barro vermelho. Raimundo [13] na sua dissertação de mestrado caracterizou argamassas de cal hidráulica natural (NHL 3,5) com traços 1:3 e 1:4 (ligante:agregado) com incorporação de resíduos na forma integral de ladrilhos cerâmicos de barro vermelho em idênticas percentagens dos trabalhos anteriormente desenvolvidos: 20 e 40% de incorporação em substituição do volume do agregado. Os resultados obtidos foram globalmente satisfatórios. Quanto ao comportamento face à presença de água líquida verificou-se que todas as argamassas apresentaram resultados ligeiramente superiores às de referência, mas dentro de valores aceitáveis. Em relação à permeabilidade ao vapor de água as argamassas com 20% de substituição de agregado apresentaram valores mais elevados do que as de referência, enquanto nas outras se verificou uma ligeira redução deste valor. Quanto às resistências mecânicas a incorporação de resíduos permitiu o seu aumento mas, em contrapartida, também o módulo de elasticidade aumentou.

Como foi referido anteriormente, após diversos trabalhos de caracterização de argamassas de cal aérea com incorporação de resíduos de cerâmica de barro vermelho iniciou-se uma linha de investigação visando as argamassas de cal hidráulica. Neste âmbito Cruz [11] procedeu à caracterização de argamassas ao traço 1:3. Já no âmbito do projeto, e fazendo parte dos trabalhos de investigação que conduzirão à conclusão de uma tese de Doutoramento foram caracterizadas argamassas de cal hidráulica ao traço 1:4 com incorporação dos três tipos de resíduos já referidos. Esta incorporação foi feita com os resíduos na sua forma integral e substituindo parte do agregado na percentagem volumétrica de 30%. Comparando os resultados obtidos pode afirmar-se que as argamassas com traço 1:4 apresentaram coeficientes de absorção e coeficientes de permeabilidade ao vapor bastante mais elevados que as correspondentes 1:3. Por outro lado apresentaram valores das resistências mecânicas e módulo de elasticidade inferiores.

Por sua vez Fontes [14] utilizou a fração fina de um resíduo de construção e demolição, como substituição parcial de massa de NHL3,5 em argamassas ao traço volumétrico 1:3 de ligante:agregado. Foi utilizada uma areia siliciosa lavada e graduada; em termos granulométricos verifica-se não ter uma percentagem muito elevada de finos sendo, aceitável para camadas de base de rebocos mas não de acabamento. No caso em questão foi incorporado um resíduo de corte de ladrilho cerâmico de barro vermelho, utilizado na reabilitação da fachada do edifício do Departamento de Engenharia Civil da FCT UNL. Este resíduo foi utilizado como única adição ou em conjunto com um metacaulino. As argamassas foram caracterizadas em termos mecânicos e físicos, mas ainda a nível químico, mineralógico e microestrutural, aos 28 dias [15] e aos 90 dias, após acondicionamento em curas distintas. A caracterização efetuou-se aos materiais, às argamassas no estado fresco e no estado endurecido. No estado endurecido foram utilizados provetes prismáticos mas também provetes constituídos por uma camada de argamassa aplicada sobre uma superfície de tijolos furados. Estes últimos provetes referidos permitiram a realização de ensaios de caracterização com alguma similitude a situações de aplicações das argamassas *in situ*, aplicadas em sistemas de rebocos. Verifica-se que as argamassas de NHL3,5 com 5% ou 10% de resíduo cerâmico em substituição mássica de cal, sujeitas a cura com aspersão diária de água durante os primeiros dias, apresentam resistências mecânicas pouco inferiores às da argamassa de referência e consideradas adequadas para aplicação na reabilitação de edifícios. Essa compatibilidade das argamassas de NHL3,5 com resíduo cerâmico, e particularmente tendo em conta a proteção da parede, é reforçada pela diminuição da absorção de água sob baixa pressão apresentada. Em termos de durabilidade da própria argamassa verifica-se que, sem metacaulino, as argamassas com resíduo de cerâmica são

mais resistentes ao ataque por sulfatos.

Na sequência dos resultados obtidos neste trabalho, Madeira [16] procedeu à caracterização de argamassas também com NHL3,5 e com a mesma areia anterior mas a um traço volumétrico mais fraco em ligante, no caso 1:4. Procedeu a adições percentuais (de 10% e de 25% face à massa de cal, em vez de substituição) de dois tipos de resíduos cerâmicos, face à massa de cal: o resíduo de ladrilhos também utilizado por Fontes [14, 15] e resíduo fino de tijolo furado corrente. A cura das argamassas decorreu em condições de cura distintas, incluindo condições em exposição natural perto junto à costa atlântica. Pretendia-se avaliar em que medida os resíduos poderiam complementar e melhorar um traço fraco em ligante, no estado fresco – em termos de trabalhabilidade – e no estado endurecido. Para além da caracterização física e mecânica realizada com provetes prismáticos e com camada de argamassa aplicada sobre tijolos, procedeu-se ainda a aplicações de quatro painéis de rebocos constituídos por salpisco e camada de base, realizados com quatro argamassas com resíduos cerâmicos: duas com dosagens distintas de resíduo de ladrilho e duas com dosagens distintas de resíduos de tijolo. Um resultado que foi logo salientado foi que a adição de qualquer dos resíduos melhora a trabalhabilidade das argamassas e possibilita a sua aplicação como sistema de reboco. Não ocorreu retração visível de secagem e a coloração obtida pelos resíduos cerâmicos foi muito ténue. Os painéis de reboco foram caracterizados *in situ* a idade jovem [17]. Verifica-se que a adição dos dois resíduos cerâmicos aumenta a dureza superficial para valores superiores a argamassas com traço mais forte da mesma cal e, simultaneamente, mantém alguma deformabilidade da argamassa, aferida por choque de esfera (método Martinet-Baronie) e boa compacidade. O comportamento das argamassas face à absorção de água sob baixa pressão é de salientar, face a argamassas comparáveis. Relativamente à caracterização com base nos provetes prismáticos verifica-se ainda que as argamassas com resíduos de cerâmica apresentam uma melhoria da resistência aos sulfatos, excepto quando aplicadas em ambientes marítimos, simultaneamente com forte presença de cloretos [18].

Pires [19] aplicou o NordTest para determinação da capacidade higroscópica de argamassas de rebocos interiores, através da determinação do *Moisture Buffer Value* (MBV). Verificou que a adição de resíduos de ladrilho e de tijolo efetuada por Madeira [16] aumenta o MBV, significando que as argamassas passam a ser mais higroscópicas. Esta maior higroscopicidade das argamassas pode, em gamas limitadas, ser benéfica; os rebocos podem contribuir nesse caso mais ativamente para a manutenção de equilíbrio termo-higrométrico no interior dos espaços interiores.

Para possibilidade de comparação com os resultados da caracterização de argamassas de cal aérea com resíduos de cerâmica (argila cozida) têm ainda vindo a desenvolver-se argamassas semelhantes mas em que parte da cal aérea ou da areia são substituídos por terra argilosa (argila crua) [20]. Verifica-se que as argamassas com resíduos cerâmicos apresentam, comparativamente, melhor comportamento mecânico, o que comprova alguma reatividade pozolânica dos resíduos face a argila crua.

4. TRABALHOS EM CURSO NO ÂMBITO DO PROJECTO

O projeto está na sua fase final, terminando no final de Setembro e estão, neste momento, ainda a ser desenvolvidos mais alguns trabalhos.

Quanto às argamassas com incorporação de resíduos de cerâmica de barro vermelho, de entre todas as analisadas e já descritas anteriormente, foram escolhidas três argamassas de cal aérea e ainda outras três argamassas de cal hidráulica natural NHL3,5 para prosseguir com outro tipo de caracterização também importante para analisar a viabilidade de utilização deste tipo de argamassas.

Após análise conjunta de todos os resultados entretanto obtidos concluiu-se que, de entre as argamassas de cal aérea, as que apresentaram melhor comportamento global foram as argamassas ao traço 1:2, com resíduo na sua forma integral e nas percentagens mais elevadas, ou seja 40% de substituição volumétrica da areia. Quanto ao tipo de resíduo verificou-se que as argamassas com tijolo e com vasos são as que aparentam ser mais vantajosas; no entanto, as diferenças observadas não são significativas. Tendo em conta a menor produção de resíduos de vasos optou-se por estudar

as argamassas com telhas e tijolos.

Quanto às argamassas de cal hidráulica natural, as de traço 1:4 apresentam vantagens face às argamassas correspondentes com traço 1:3. Esta conclusão foi retirada pelo facto de implicarem um menor consumo de ligante, e ainda, em termos de comportamento na presença de água/vapor de água e de comportamento mecânico, apresentarem resultados mais satisfatórios; estes resultados foram muito semelhantes a argamassas similares de cal aérea e, portanto, consideram-se mais adequados a argamassas de reabilitação de edifícios antigos. Quanto à seleção dos resíduos a utilizar decidiu-se escolher a telha e tijolo porque, por um lado, são os resíduos produzidos em maior quantidade e, por outro lado, as argamassas com resíduos de vasos cerâmicos apresentarem algumas variações comparativamente às argamassas com tijolo e telha, sobretudo no que diz respeito à porosidade.

Para as argamassas selecionadas está a decorrer uma campanha de caracterização do seu comportamento face à presença de cloretos e de sulfatos (figura 5), do seu comportamento após envelhecimento (com aspersão manual e ciclos segundo a norma EN 1015-21) e ainda a avaliação do seu comportamento após aplicações sobre tijolos e em painéis de reboco aplicados em paredes antigas.

Nos provetes de argamassa aplicada em tijolos e sobre os painéis de rebocos em paredes reais será determinada a sua permeabilidade à água sob baixa pressão pelo método dos tubos de Karsten (figura 6), a sua resistência adesiva por *pull-off* e a sua coesão superficial.



Figura 5. Analise do comportamento face a presença de sulfatos

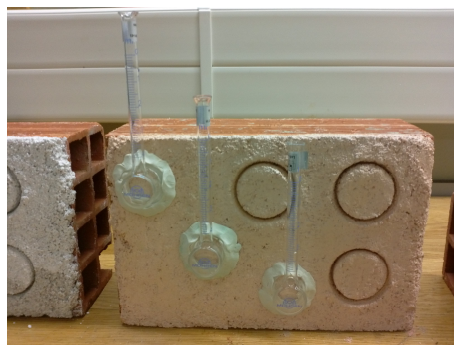


Figura 6. Analise da permeabilidade a água e ensaio de pull-off

Paralelamente a estes trabalhos iniciou-se uma linha de investigação com outro tipo de resíduos de cerâmica: os resíduos de cerâmica branca. De entre os diferentes tipos de cerâmica branca elegeu-se a faiança e a porcelana para início dos trabalhos. Foram recolhidos diversos tipos de resíduos de fábricas da região centro.

Estão a ser caracterizadas argamassas com argamassa de cal hidráulica ao traço de 1:3 com incorporação de resíduos de porcelana vidrados, resíduos de faiança vidrados e resíduos de faiança não vidrados. A incorporação destes resíduos (na forma integral) na argamassa está a ser executada em substituição de parte do agregado e em percentagens idênticas às já anteriormente utilizadas: 20 e 40%.

A caracterização está a ser executada através da determinação das suas características no estado fresco e no estado endurecido, nomeadamente, a determinação das resistências mecânicas, do módulo de elasticidade, da massa volúmica, da porosidade aberta, da absorção de água, da capacidade de secagem e da permeabilidade ao vapor de água.

5. CONCLUSÕES

A incorporação de resíduos de cerâmica em argamassas de edifícios era uma prática corrente na antiguidade, com excelentes resultados, mas que caiu em desuso.

Com a investigação iniciada em 2004 mas particularmente com os desenvolvimentos dos últimos anos tem-se pretendido analisar qual a viabilidade de retomar essa tradição. Sabemos que as características do material cerâmico fabricado atualmente não são exatamente as mesmas do material cerâmico que ainda hoje se encontra em rebocos antigos, nomeadamente no que diz respeito ao seu tratamento térmico e particularmente à sua temperatura de cozedura.

Com os trabalhos prévios desenvolvidos chegou-se à conclusão que poderia ser realmente vantajosa esta incorporação, não só porque se poderiam melhorar algumas características das argamassas mas também porque ajudaria a resolver o problema da deposição em aterro deste tipo de resíduo, que hoje se verifica.

Assim, em 2012 iniciou-se o processo de candidatura a um projeto de investigação sobre a incorporação de resíduos de cerâmica em argamassas de reabilitação, e em 2013 iniciou-se a sua execução.

Neste momento o referido projeto está na sua fase terminal faltando a análise do comportamento das argamassas face à presenças de cloretos e sulfatos, análise do seu comportamento após envelhecimento acelerado e ainda a análise do seu comportamento quando aplicado sobre suportes, em sistemas de reboco (e não só das argamassas individualmente) e sobre condições de exposição reais.

Claro que a investigação não terminará com o terminus do projeto mas espera-se que os resultados obtidos sejam um incentivo ainda maior para aprofundar o conhecimento nesta área.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FCT-Fundação para a Ciência e Tecnologia pelo apoio conferido ao projeto EXPL/ECM-COM/0928/2012-Incorporação de resíduos de cerâmica em argamassas de reabilitação. Agradece-se também à Secil pela disponibilização de cal hidráulica natural NHL3,5 para a realização das argamassas e à Lusical pela disponibilização da cal aérea H100.

REFERÊNCIAS

- [1] Faria-Rodrigues, P., "Argamassas de revestimento para alvenarias antigas. Contribuição para o estudo da influência dos ligantes", Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, na especialidade de Reabilitação do Património Edificado, Universidade Nova de Lisboa. novembro de 2004.
- [2] Faria-Rodrigues, P.; Henriques, F., "Current mortars in conservation: an overview". *Restoration of Buildings and Monuments*, vol.10 (6), pp.609-622, 2004.

- [3] Charola, A.E.; Faria-Rodrigues, P.; McGhie, A.R.; Henriques, F., "Pozzolan components in lime mortars: correlating behaviour, composition and microstructure", *Restoration of Buildings and Monuments*, vol.11 (2), pp.111-118, 2005.
- [4] Faria-Rodrigues, P., "Resistência aos cloretos e aos sulfatos de argamassas de cal aérea e diferentes pozolanas", in *COMPASS Seminar – Soluble salts in Old Buildings – Damage, Processes and Solutions*, 2005, pp. 9.1-9.14.
- [5] Matias, Gina, "A influência de Resíduos de Tijolo no Comportamento de Argamassas de Cal", Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, Julho de 2008.
- [6] Duarte, Tiago, "Comportamento Mecânico de Argamassas de Cal com Resíduos Cerâmicos" Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, Julho de 2011.
- [7] Ferreira, Tiago, "Análise do Comportamento Higrotérmico de Argamassas de Cal Aérea com Resíduos Cerâmicos," Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, Setembro de 2011.
- [8] Tomás, Ana, "Análise do Comportamento de Argamassas de Cal Aérea com Resíduos de Cerâmica em Substituição de Parte do Agregado" Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, Julho de 2012.
- [9] Silva, Hugo "Análise do Comportamento de Argamassas de Cal Aérea com Resíduo de Cerâmica em Granulometria Fina" Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, Janeiro 2012.
- [10] Barbosa, Teresa, "Comportamento de Argamassas de Cal Aérea ao Traço 1:2 com Incorporação de Resíduos Cerâmicos," Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, Janeiro 2013.
- [11] Cruz, Ana, "Análise do Comportamento Higrotérmico de Argamassas de Cal Aérea com Resíduos Cerâmicos" Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, Setembro 2012.
- [12] Simões, Estrela, "Análise e Caracterização de Resíduos Cerâmicos para Integrar em Argamassas de Reabilitação" Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, Julho de 2013.
- [13] Raimundo, Ana, "Argamassas de Cal Hidráulica Natural com Incorporação de Resíduos de Mosaico de Barro Vermelho," Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, Setembro 2013.
- [14] Fontes, T., "Argamassas de cal hidráulica natural NHL3.5 de fabrico nacional. Otimização de características com resíduo cerâmico e metacaulino", Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Caparica, julho de 2013.
- [15] Fontes, T., Faria, P., Silva, V., "Caracterização de argamassas de cal hidráulica natural com metacaulino e resíduo cerâmico", in *CONSTRUÇÃO 2012*, 2012 (CD).
- [16] Madeira, T., "Argamassas de cal hidráulica NHL3.5 com resíduos cerâmicos", Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Caparica, dezembro de 2013.

- [17] Faria, P., Costa, J., Figueiredo, T., Lourenço, T., Silva, V., "Caracterização de rebocos de argamassas de cal aérea e de cal hidráulica natural com metacaulino e resíduos cerâmicos em exposição natural", in *Argamassas 2014 - I Simpósio de Argamassas e Soluções Térmicas de Revestimento*, 2014 (CD).
- [18] Faria, P., Silva, V., Madeira, T., "Natural hydraulic lime mortars with ceramic residues for masonry", in *9th International Masonry Conference*, 2014, (aceite para publicação).
- [19] Pires, A.L., "Avaliação do comportamento higroscópico de argamassas de reboco", Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Caparica, dezembro de 2013.
- [20] Faria, P., Silva, V., Jamú, N., Dias, I., Gomes, I., "Evaluation of air lime and clayish earth mortars for earthen wall renders", in *Vernacular Heritage and Earthen Architecture: Contributions for Sustainable Development*, M. Correia, G. Carlos, S. Rocha (eds.), Taylor & Francis Group, 2013, pp. 407-413.